

今回の報告ではトリエールにおいて行われた第2回国際キュポラ会議での講演に関するコメントがほとんどである。P. Godinot [1]による基調講演は、キュポラ溶解の将来について経済性の観点から評価している。全体として実際に問題がいろいろあるにも関わらず、建設的な評価がなされている。環境保護及び使用材料の価格上昇の結果として生ずる各種の負担は、溶解操業の大きさに影響を与える。さらに地域的条件で影響を受ける溶解ユニットの選択の基準について扱っている。

スペイン、オヴィエドにおいて第7回国際キュポラミーティングでの G. Tihon [2]の報告は、排出物の制約についての条件が重要なテーマとなっている。

#### 装置技術

E Hofmann [3]、A Colbaut、P. Godinot [4]は GIFA2003 の補遺として紹介された溶解プロセス及び設備についての展望を述べている。

M. Lemperle [5]はキュポラ技術の新しい発展について紹介している。これは現状の耐火ライニングの改善、酸素添加による熱効率の向上対策、天然ガスによるコークスの一部代替及び新しい代替金属材料などに関するものである。

また G. Hauck [6]は近代的で、進歩した自動キュポラ炉溶解設備について報告している。設備構成の技術の現状ならびにそのもたらす結果について紹介している。

村田ら[7]は、新しい熱交換器の組み込みにより溶解の効率がいかに改善されるかについて詳細に説明している。事例により説明された改造の目的は高温熱風を確実に発生させ、それを適切に利用することにある。そのために各種のレキュペレータが紹介され、比較している。水平管束をもったシステムが利点を持つことが判明した。これは最近の改造によって到達した操業結果により確かめられた。

石川ら[8]もまたこの種のレキュペレータの利点について指摘している。この報告では特に、脱硫、マグネシウム及び取鍋搬送処理によって到達しうる改善に

ついて述べている。

E. N. Gnezdov [9]はキュポラ炉の利点と短所とを対比させている。著者の見解によれば、短所としては比較的大きなエネルギー消費及びこれと結びついたシャフト炉からの排出物問題であるとしている。ロシアにおける状況を評価し、コークス消費とガス排出とについて解析した。その結果から推論できることは、改善に対する余地がなお存在するということである。そのために必要とする処理があげられている。

P. Tors [10]はフランス、ノルフォンの鑄鉄工場において1992年に新しく達成された大規模プラン実現の状況を説明している。生産計画は球状黒鉛鑄鉄によるマンホールカバー、煙突カバーを含むものである。溶解設備、溶湯処理設備について特に詳しく述べている。熱風キュポラ炉溶解設備は25~30t/hの性能を有する。報告書には操業データの画面表現が示されている。

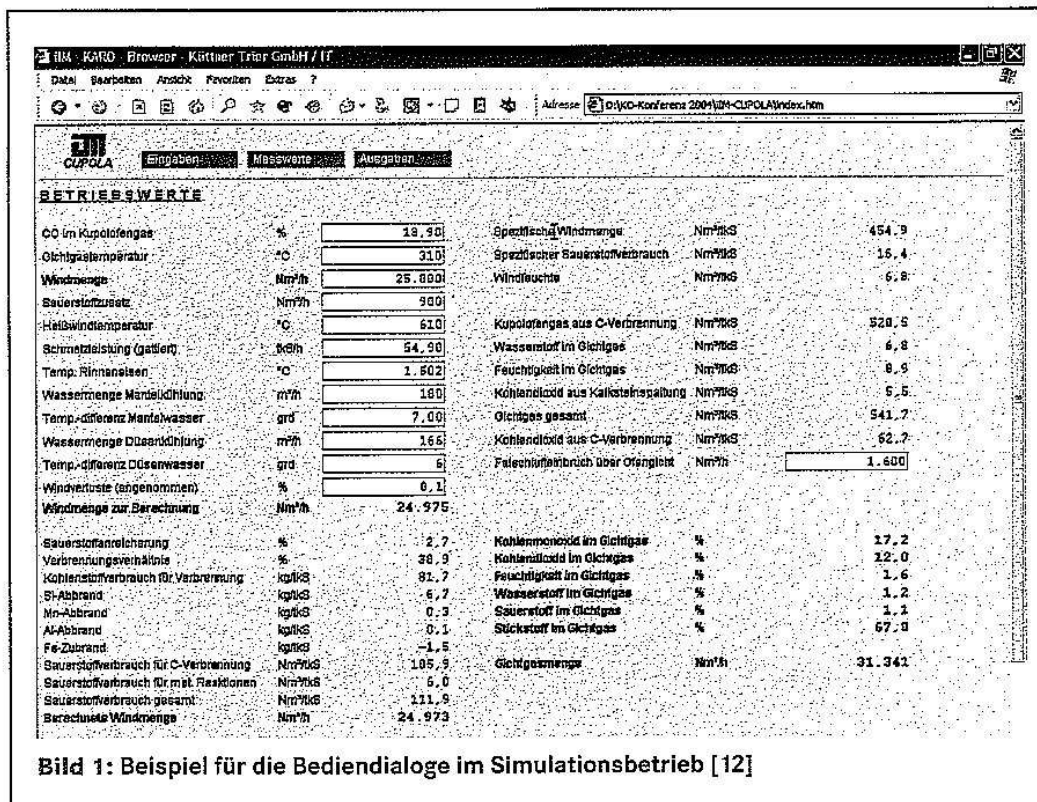
#### 計算モデル

V. Stanek, S. Katz 及び A. Landefeld [11]は、AFS キュポラモデルのさらなる発展において到達した新しい結果を紹介している。これは利用の可能性をさらに拡張することができる一連の新しい特長を含むモデルである。新しいグラフィックユーザー画面により、利用者にとってモデルパラメータの入力及び結果の出力が容易となった。モデルの適合性をテストするために、実際の値との比較を行った。15年間にわたって採取された229のデータセットにより評価が行われた。計算によって得られたデータとの比較は良い一致を示した。溶湯温度においてのみ計算値との大きなずれが認められた。これに関し、全体熱収支を求める際に溶湯温度の変化は実際にはさほど重要ではないと説明している。

R. Hüsken, T. Enzenbach, R. Fechner [12]は、産業用装置向けの新しい部品製造に関し、従来の実証済みのプロセス管理及び情報システムがいかに拡張されたかについて報告している。キュポラ炉溶解設備内部の物質及び熱収支の計算について、オペレータは操業データに対する追加の情報をすぐに利用できるようにすることができる。プロセス管理システムから得られる値を超えているとの評価を得た。計算値と測定値とを比較すれば、場合によっては大規模の計算費用を必要とするような、操業時に起こりうる不規則性を診断することが可能となる。さらなる利用の可能性があるのは操業データの評価及び万一の変動

の影響の予測である。モデルは、各種の利用の場合に対し修正できるように構築された。例として図1に操業データの計算を示す。ここではとりわけ送風の損失の制御が可能である。

## 環境保護及び廃棄物の活用



キュポラ排ガス中の有害物質の測定結果について B. Duquet [13]が紹介している。測定は4種の冷風キュポラ、2種の熱風キュポラについて行われ、特にダイオキシンとフランの発生が取り上げられた。熱風キュポラではシャフト炉中の大部分が燃焼室内で分解される。その他のダイオキシンとフランの部分はダスト粒子に吸着される。

H. Bautz 及び J. Helber [14]はキュポラからの臭気の発生問題について取り組んでいる。臭気の発生は選択した使用材料、燃料、キュポラ炉設備の構成と操業法に関係している。臭気形成のメカニズムは大変複雑で、未だ明確になっていない。現場測定及び実験室測定を行った結果はこの問題設定の解明の端緒を与えるものであると期待される。

M. Peters ら [15]はダストやスラッジなど、鋼の製造の際に目的とする製品以外に発生する残留物質は、まだかなりの量の鉄を含んでいると説明している。物質のリサイクル回収の可能性を探ることは資源保護に貢献するものである。この目的に対し、過去5年間に一つの方法が開発された。すでに他の研究でも紹介された装置の核心部分は、キュポラ炉の特長に依拠して設計されたシャフト炉である。残留物質中に含まれる酸化鉄を還元するために、これらは炭素とバインダーを加えて圧縮成形される。図2は、冷間及び温間でこの圧縮成型物の強度を調べた結果である。

この新しいプロセスと付属する装置に関するさらなる研究[16]が紹介されている。

B. Schwab [17]は亜鉛の熱的回収のためのインペリアル精錬システム (IS) につ

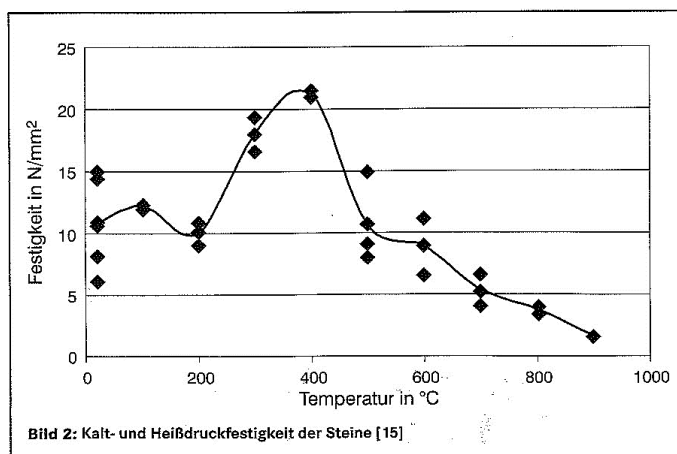


Bild 2: Kalt- und Heißdruckfestigkeit der Steine [15]

いて紹介している。このユニークな方法は亜鉛と鉛の同時の回収生成を可能とするものである。シャフト炉は、

キュポラ炉の除塵装置からの亜鉛を含む回収材の使用することができる。表1は全体で約35%の亜鉛を含むキュポラダストの組成を示す。そのような亜鉛含有量の高い部分は亜鉛引きスクラップの大量使用のさいに確認されている。ここに示される値から興味ある帰納的推論が導かれる。複合結合(2 ZnO) × (SiO<sub>2</sub>)において亜鉛の優勢な部分が存在することが確認される。また SiO<sub>2</sub>は大部分が ZnO と結合している。一方キュポラに

Tabelle 1: Mineralogische Untersuchung von Kupolofenstaub mit einem Zinkgehalt von 35,5 % (Massenanteil) [17]

Verbindung	Gehalt in % (Massenanteil)
Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	39,10
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	19,50
ZnO	9,53
ZnCl <sub>2</sub>	0,38
ZnSO <sub>4</sub>	1,20
PbO	0,42
PbSO <sub>4</sub>	0,60
MnO	0,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,10
FeO	12,43
SiO <sub>2</sub>	6,08
CaO	2,50
K <sub>2</sub> O	0,36
Na <sub>2</sub> O	0,38
MgO	0,30

おける亜鉛の濃縮には上限がある。これは以前行われた研究から得られた同様な知見と一致するものである。

## 装入材料

装入材料に関する一連のテーマについて刊行された報告書の内容については大部分実際の開発がすでに進んでいる。またその内容は現在鑄造業者が悩んでいる金属装入材料の価格

の高騰に相当程度関係したものである。

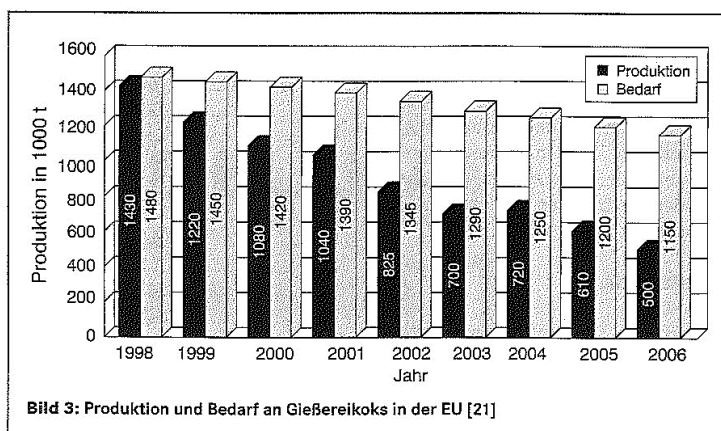
R. Ewers、W. Scholl、R. Willeke[18]は製鋼産業における全世界、EU、及びドイツにおけるスクラップの使用量の増加について詳述している。鋼の生産容量の変動、特に電気炉での製鋼におけるそれはスクラップの取引の流れに影響を与える。全体として世界的に需要の方が供給よりも大きい。

M. Rolke [19]は2003年のスクラップ市場を概観している。ここでもまたスクラップの取引の流れの変動について取り上げている。さらに、特に価格の上昇の予測には信頼性がないことを強調している。

また D. Cohrs、B. Guschall-Jaik [20]は、ヨーロッパにおける依然として高いスクラップの需要レベルについての記述から出発しているが、価格の上昇に関するさらなる記述は現在では古いものとなっている。永続する強い需要は高品質種の供給の不足をもたらす。

F. Holz und F. Reine [21]はコークス市場の世界的な発展について取り上げている。またヨーロッパにおける鑄物コークスの市場について取り上げている。

EUの生産及び需要の統計(図3)はここでの状況を明らかにしている。1998年以來、需要は約15%減少した。一方生産はほぼ半分となった。来るべき年にはこの差はさらに大きくなるであろう。中国からの輸入への依存を減少させるために、企業 RAG はチェコのコークス製造工場 Svoboda との協力関係を強化した。また今後他の東欧諸国が EU の鑄物コークス供給に重要な貢献を果たす



ことが期待されている。西欧は自身の需要をその生産でカバーできる状況にはなく、輸入に頼っている。

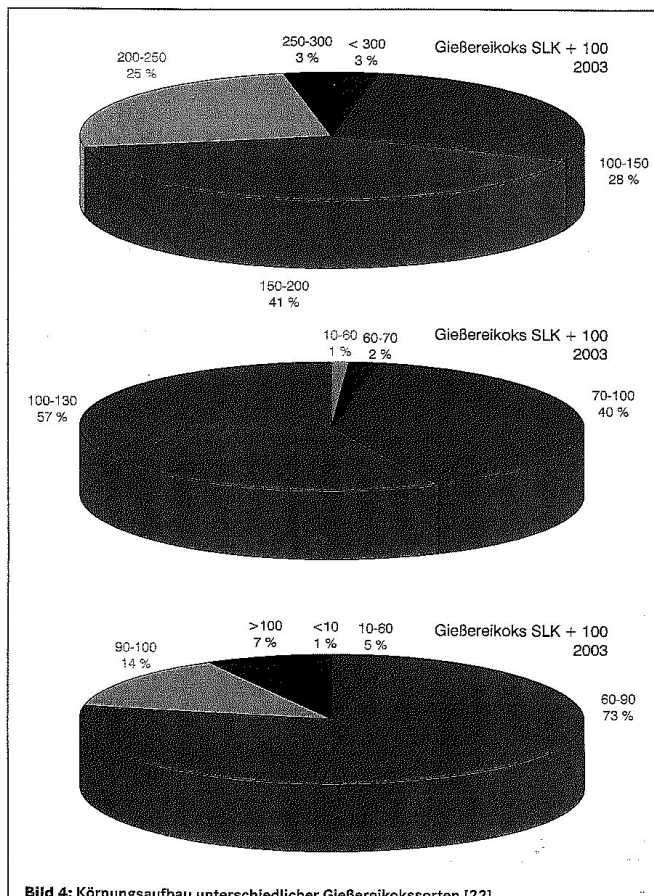


Bild 4: Körnungsaufbau unterschiedlicher Gießereikoksarten [22]

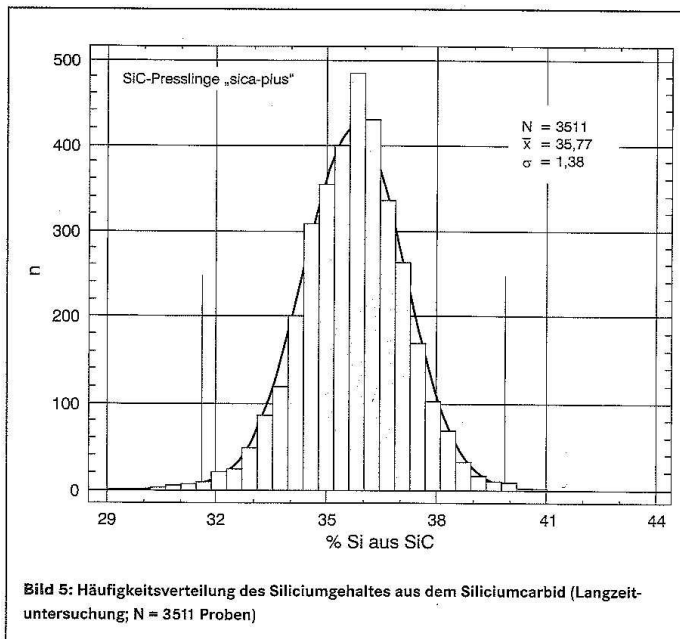


Bild 5: Häufigkeitsverteilung des Siliciumgehaltes aus dem Siliciumcarbid (Langzeituntersuchung; N = 3511 Proben)

Ostrava (チェコ共和国)にあるコークス製造工場では鑄物コークスの製造において長い伝統を持っていると、J. Hladky und R Mokros [22]は述べている。1999年にそれまでの装置全体を近代化させた。生産能力は明らかに増大し、製造されたコークスの品質は高いレベルであると保証された。図4は異なる種類のコークスの粒度構成を示す。

K.- H. Caspers は二つの報告書[23, 24]でシリコンカーバイド圧縮体の製造における品質保証の対策について報告している。シリコン及びマンガンキャリアーはキュポラにおける鑄鉄の溶解の際に、鉄の冶金的品质に関し重要な意義を持つという事実をベースとしている。製造プロセスにおいて重要な性質を狭い限界に保持することがいかにして保証されるかについて詳述している。図5は長期にわたる試験の結果としてシリコン含有量の頻度分布を示している。

S. Katz、M. E Bauer、T.J. Multon [25]は、キュポラ溶解の際のシリコンカーバイド・ブリケットの挙動についての試験結果を紹介している。**表 2**はシリコンカーバイドのキャリアの代表的組成を示す。試験を行い、各種のシリコンキャリアの使用を用いたときのキュポラ炉内での反応が評価された。

## 冶金学

M. Chisamera ら [26]は、小型冷風キュポラの操業を改善する解決法について取り上げている。そこで2段羽口で分割送風を行うことによるシステムの最適化に重要な意義を認め

	Zusammensetzung von Siliciumcarbid-Trägern in % (Massenanteil)		
	35 % SiC Briketts	60 % SiC Briketts	97 % SiC Bruch
Silicon	24,5	42,0	67,9
Kohlenstoff (kombiniert mit SiC)	10,5	18,0	29,1
Kohlenstoff (frei)	27,5	13,0	2,0
Kieselsäure	15,9	12,0	1,0
Zement	10,0	10,0	0
Anderes	12,5	5,0	0

ている。風量の分割と到達した溶解結果について報告している。第2部では金属シリコンカーバードブリケットの使用とそこで得られた結果についての詳述している。

M. Arasu [27]はその研究の中でキュポラ炉及び誘導炉での鑄鉄の省エネルギー溶解を扱っている。そこでは装入材料及び操業条件について観察して詳しく述べている。溶解技術の新しい発展についての報告はキュポラ炉の展望を明るくしている。

C.Pinceloup、J.-P.Blondeau [28]の報告によれば、PSA Sept Fons の鑄造工場の熱風キュポラ炉では、様々な改造が行われた。目標は性能と柔軟性の向上にある。これは熱風温度をプラズマバーナーの使用と酸素の羽口からの直接吹き込みによって800℃に上げることで達成された。この処置を組み合わせることで、使用する金属材料の配合を実質的に変化させることなしに、溶解能力を20から32t/hに変化させることができた。そこで得られた結果を解説している。熱風温度を800℃に上げることによりコークスとシリコンの使用量を減少させる。

J. Tartera、J.-P. Pellicer、M. Marsal [29]はキュポラで溶解されたベース鉄からの球状黒鉛鑄鉄の製造について調べている。キュポラ炉内で進行する過程の他に、溶湯の処理方法についても観察している。同様に製造された鉄の性質について評価している。その結果から、キュポラ溶解でのプロセスルート、中空ワイヤー処理や鑄型内接種が、球状黒鉛鑄鉄の優れた機械的性質を導くと結論している。バーミキュラー黒鉛鑄鉄(GJV)は今日まだその多面的な利用可能性に応じた生産がなされていないと、R. Weber und H. Loblich [30]は述べている。さらにその理由について取り上げている。また再現性ある製造の条件を調べている。溶解ユニットは管理技術及び経済的根拠の観点から選択された。重要なことは有害元素の上限値を守ること、及びその後の溶解処理である。

### 酸素添加

G. Tihon [31]は2部にわたって、キュポラ溶解における酸素添加の作用について報告書している。第1部では現状についての概観が述べられ、試験結果が報告され、評価されている。さらに影響の大きさに関する結果について述べている。酸素添加については金属学的には限界はなく、経済的側面から限界があるということが重要である。同じ著者[32]は別の報告書で同様にキュポラ溶解における酸素添加の効果について報告している。試験結果の評価から物質及び熱収支が計算されている。溶解能力の向上の際に熱損失がパーセントオーダーで減少し、これが部分的な効果の説明となる。冷風キュポラの場合、酸素添加の効果はまだ大きくは現れていない。有効な効果は炉内の温度分布の変化に基づいている。それにより溶解性能を向上させることなく効率が改善されることで、冷風操業と熱風操業の違いが解明される。

J. Friedrich [33]は同様に酸素添加の利点について取り上げている。これについていろいろな方法が解説され、評価されている。酸素を超音速で吹き込む特殊なランスの使用の際に、作業ポイントに対する制約は溶解プロセスの柔軟性に対し不利であると見なされる。これを避けるために、酸素は連続的でなく、インパルスの形で与えられる。休止時間の長さにより、ランスの作業ポイントに頼らずに、酸素量が変化される。この方法によって達成された結果について紹介している。

また W. Beumers, G. König und W. König [34]はキュポラ溶解の際の酸素添



加の最適化に取り組んでいる。同様に J.Friedrich [33]は供給量の調整のためには酸素供給の短時間の中断が目的にかなっているという見解を主張している。ここに紹介された方法では、休止期間に圧搾空気が添加される。

P. Gebala [35]によると、ポーランドの鑄鉄鑄造工場 SPOMEL で、キュポラ溶解操業の最適化のために、Hightjet 法による酸素添加を行うことを決定した。溶解能力の向上、溶解コストの低減、排出物の低減を目標とした。新しい方法の導入の1年後に、目的は要求通りに達成されたことが確認された。

O. Frielingsdorf ら[36]は、研究計画 KUPOLOPT の実施において到達した結果について報告している。ここでキュポラでの天然ガス—酸素バーナーの使用について調査した。測定は従来の操業方法に対し溶解性能の 50%の向上を示した。同様に、同じ溶解された鉄の組成でシリコンとマンガンの合金キャリアーの添加を低減することができた。全エネルギー使用量は鉄の生産量に関係するがバーナーなしの操業におけるよりもより大きかった。鉄の品質の調査は大きな違いは見いだされなかった。天然ガス／酸素バーナーの使用に関する、同じ著者[37]による別の報告書がある。

#### 他の燃料加熱炉

R.Graf 、 T. Bald [38]は、コークスの入手性及び品質ならびに環境立法がシャフト炉溶解プロセスの最適化を強制していると述べている。ガス燃焼キュポラ炉は可能性ある代替物として見なされる。最近、多くの分野で使われている設備が最適化されている。これらの対策の結果について報告している。

コークレス、ガス加熱キュポラ炉の金属学について J. Manasieva、T. Bald、R. Dopp [39]の報告書がある。ここでは、コークス加熱キュポラ炉の金属学との比較でいくつかのコメントが述べられている。

A. Colbaut、S. Ressant [40]はキュボラ溶解の代替としてのガス加熱回転炉での溶解の技術の現状について報告している。溶解の原理、炉設備の構成、

<b>Tabelle 3: Mindestzykluszeiten bei Drehtrommelöfen, Energieverbrauch beim Schmelzen (ohne Warmhalten) und Verbrauch an Feuerfestmaterial (Literaturangaben Air Liquide) [40]</b>					
<i>Ofenkapazität in t</i>	3	5	8	12	20
<b>Mindestzykluszeiten in min</b>					
Chargierzeit	10	15	20	25	30
Schmelzzeit (1450 °C)	60	75	90	100	115
Abschlackzeit	15	15	15	20	25
Gesamtzeit	85	105	125	145	170
<b>Energieverbrauch beim Schmelzen (ohne Warmhalten)</b>					
Nennleistung in MW	1,5	2	2,5	3,5	5
Erdgas in Nm <sup>3</sup> /t	38-43	38-43	38-43	38-42	38-42
Sauerstoff in Nm <sup>3</sup> /t	130-150	130-150	130-150	130-145	130-145
<b>Verbrauch an Feuermaterial</b>					
Feuerfestmaterial gesamt in kg/t Gusseisen	10 bis 12	8 bis 11	7 bis 10	7 bis 10	5 bis 9

溶解ユニットの普及についてのコメントが続く。報告では、行われた溶解試験結果について述べ、さらにアンケートの結果に基づく操業値を付け加えている。**表3**は、他の溶解ユニットと比較して、溶解経過及び消費に関するいくつかの値を示している。

C. M. L. Hall [41]は新しい開発により、近代的な回転炉の競争力が改善されたことを報告している。この改善はとりわけ炉体の幾何学的形状、燃焼技術、耐火物ライニングに関するものである。鋳鉄及び銅合金の溶解の際の経済性の観察は、ある状況下では誘導炉と比較して利点を得ることができることを示し

ている。

参考文献：

- [1] 2nd International Cupola Conference, Trier, 18./19. März2004. Vortrag 1-1.
- [2]Fondehe, Fondeur d'aujourd'hui(2002) Nr. 220, S. 10-12.
- [3] Giesserei 90 (2003) Nr. 11, S. 38-50.
- [4]Fondehe, Fondeur d'aujourd'hui (2003) Nr. 226, S. 11-13.
- [5] 65. Gießerei-Weltkongress, Gyeongju, KR, 20. bis 24. Oktober 2002.  
Proc. S. 1147-1152.
- [6] Foundry Trade journal 177 (2003) Nr. 12, S. 23-27., Nr. 3599, S. 14-15.
- [7] Wie [1]. Vortrag 3-4.
- [8] Wie[1]. Vortrag 4-5.
- [9] Litejnoe Proizvodstvo (2002) Nr. 12. S. 25-27.
- [10] Hommes et Fonderie (2003) Nr. 331, S. 14-28.
- [11] Wie[1]. Vortrag4-2.
- [12] Wie [1]. Vortrag 2-6.
- [13] Wie[1]. Vortrag 3-1.
- [14] Wie [1]. Vortrag 3-2.
- [15] Wie [1j. Vortrag 1-3.
- [16] 3rd internal Conf. on Sci. and Technol. of Ironmaking, 16. bis 20. Juni